第 38 卷第 9 期 生 态 学 报 Vol.38,No.9
2018 年 5 月 ACTA ECOLOGICA SINICA May,2018

DOI: 10.5846/stxb201703310558

程赛赛,倪娟平,高梅香,李景科.小兴安岭森林地表鞘翅目成虫对不同干扰梯度的响应.生态学报,2018,38(9):3097-3109.

Cheng S S, Ni J P, Gao M X, Li J K.Responses of ground Coleoptera adults to different disturbance gradients in the forest ecosystem of the Xiaoxing′an Mountains.Acta Ecologica Sinica,2018,38(9):3097-3109.

小兴安岭森林地表鞘翅目成虫对不同干扰梯度的响应

程赛赛[1,2],倪娟平[1,2],高梅香[1,2,*],李景科[1,2]

1 哈尔滨师范大学地理科学学院,哈尔滨 150025

2 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室,哈尔滨 150025

摘要:为探讨小兴安岭凉水自然保护区森林生态系统中地表鞘翅目成虫群落对不同人为干扰梯度的响应,于 2015 年 7 月、8 月和 10 月分别对轻度干扰[原始阔叶红松林(KY)和谷地云冷杉林(YL)]、中度干扰[阔叶红松择伐林(ZF)和次生白桦林(BH)]及重度干扰[落叶松人工林(RL)和红松人工林(RHS)]的 6 个林型进行取样调查。结果表明:(1)整个采样周期共捕获地表鞘翅目成虫 879 只,隶属 9 科 44 物种;其中轻度干扰生境共捕获 6 科 29 种 251 只(KY 捕获 5 科 21 种 150 只,YL 捕获 4 科 20 种 101 只),中度干扰生境捕获 6 科 27 种 276 只(ZF 捕获 3 科 20 种 144 只,BH 捕获 6 科 23 种 132 只),重度干扰生境捕获 6 科 29 种 352 只(RL 捕获 4 科 22 种 232 只,RHS 捕获 5 科 17 种 120 只)。(2)7 月和 8 月步甲科和葬甲科占据数量优势,10 月步甲科和葬甲科成虫数量明显减少而隐翅虫科数量占优势;不同林型及不同干扰梯度地表鞘翅目成虫物种总数和总个体数于 7、8、10 月均表现为下降趋势,且群落多样性也呈不同程度下降。(3)林型和月份对地表鞘翅目成虫群落结构具有显著影响,干扰梯度对群落结构无显著影响;6 个林型之间地表鞘翅目成虫个体数量具有显著差异,但在物种组成上无显著差异;不同干扰梯度间地表鞘翅目成虫个体数、物种数无显著差异,且随干扰梯度变化没有明显的梯度性规律;相似性系数和聚类分析表明,属于同一干扰梯度的两个林型没有表现出高度的相似性。本研究表明干扰梯度不是决定各林型间地表鞘翅目成虫群落多样性存在差异的主要原因,凉水森林生态系统地表鞘翅目成虫对不同干扰梯度的响应不符合中度干扰假说,林型和时间则是影响地表鞘翅目成虫群落组成的显著因素,本实验为地表生物多样性保护和森林生态系统管理提供数据支撑。

关键词:地表鞘翅目成虫;群落组成;多样性;干扰梯度;小兴安岭

Responses of ground Coleoptera adults to different disturbance gradients in the forest ecosystem of the Xiaoxing′an Mountains

CHENG Saisai[1,2], NI Juanping[1,2], GAO Meixiang[1,2,*], LI Jingke[1,2]

1 *College of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin* 150025, *China*

2 *Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, Harbin Normal University, Harbin* 150025, *China*

Abstract: With the increase in human and natural disturbances, and one of the major tasks focused on contribution of disturbance on community compostions and distributions. Intermediate disturbance hypothesis has been suggested an important driver for community compositions and distributions, which assumes that intermediate disturbance can maintain high biodiversity. This hypothesis has been verified in some scientific studies for different communities; however, whether this hypothesis functions to soil animal communities is still unclear. Few studies have investigated the responses of soil animals to human disturbance intensity in grassland, farmland, and wetland ecosystems. However, the response

基金项目:国家自然科学基金项目(41471037,41371072,41430857);黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(UNPYSCT-2015054);哈尔滨师范大学青年学术骨干资助计划项目(KGB201204)

收稿日期:2017-03-31; **网络出版日期**:2018-01-26

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: gmx102@hotmail.com

characteristics of ground soil animals to different disturbance intensities is rarely reported in forest ecosystems. The Liangshui nature reserve presents a complete disturbance gradient of primary forest-secondary forest-plantation forest, which provides a good platform for identifying the response of soil animal communities to different gradients of disturbance intensity. This experiment was conducted in six forest habitats in the Liangshui nature reserve, that is a virgin mixed broadleaved-Korean pine forest (KY), valley spruce-fir forest (YL), selectively cut mixed broadleaved-Korean pine forest (ZF), secondary birch forest (BH), Dahurian larch plantation (RL), and Korean pine plantation (RHS). KY and YL are characterized as mildly disturbed habitats with primary forests more than 300-years-old. ZF and BH are characterized as intermediately disturbed habitats with 200- and 60-years-old secondary forests, respectively. RL and RHS are characterized as severely disturbed habitats with plantation forests more than 63-years-old, which were planted after clear cutting. To elucidate the responses of ground Coleoptera adults to different disturbance gradients in forest ecosystems, pitfall traps were used to collect ground Coleoptera beetles in July, August, and October 2015. One-way ANOVA, three-way ANOVA, and clustering analyses were subsequently performed for adult beetle communities. This study aimed to address (1) whether the abundance (individual number), richness (species number), and diversity indices of the ground Coleoptera beetle communities were significantly different among six forest habitats and three seasons; (2) whether the abundance, richness, and diversity indices of ground Coleoptera beetle communities changed gradually across the disturbance intensity gradients; and (3) whether the diversity of ground Coleoptera beetle communities in Liangshui forest ecosystems was consistent with the intermediate disturbance hypothesis. The results showed that (1) 879 ground Coleoptera beetles were captured in the six forest habitats in total, which belonged to nine families and 44 species; 251 beetles were collected in mildly disturbed habitats (150 beetles in KY and 101 beetles in YL), which belonged to six families and 29 species; 276 beetles were captured in intermediately disturbed habitats (144 beetles in ZF and 132 beetles in BH), which belonged to six families and 27 species; 352 beetles were trapped in severely disturbed habitats (232 beetles in RL and 120 beetles in RHS), which belonged to six families and 29 species. (2) In July and August, Carabidae and Silphidae beetles were numerically dominant. In October, the abundance of Carabidae and Silphidae beetles decreased, and the abundance of Staphylinidae beetles were dominant. A decreasing trend in the total number of ground Coleoptera adults was detected across the surveyed seasons (from July to October) in all forest habitats, and to some extent, community diversity indices also showed the same trend. (3) According to the results of three-way ANOVA, the main effects of forest habitat and month were significant on the ground Coleoptera beetle compositions; however, the disturbance gradient had no significant effect on community structure. The abundance of ground beetles showed a significant difference among the six forest habitats, but no such difference was observed in the richess of ground Coleoptera adults. Significant differences in the abundance, richness, and diversity indices of Coleoptera adults were not detected among habitats with mild, intermediate, and severe disturbance, indicating there was no gradual change across the disturbance intensity gradients. Furthermore, ground Coleoptera beetle communities classified as having the same disturbance gradient, did not show high similarity based on the results from similarity coefficients and clustering analyses. The results of this study suggest that the disturbance was not a main factor driving the composition of adult ground Coleoptera communities in six forest habitats in the Liangshui Nature Reserve, and the "intermediate interference hypothesis" was not verified in this study. Forest type and time were proposed as important factors for ground Coleoptera beetle structures in the six habitats. These results provide theoretical support for the protection of biodiversity and ecosystem management in forest ecosystems.

Key Words: Coleoptera adults; community composition; diversity; disturbance gradient; Xiaoxing'an Mountains

人类活动通过作用于生物生存环境而影响物种动态,从而影响着生物多样性的变化[1-2]。随着人为活动和自然干扰的增多,对不同强度干扰下生物多样性的研究更具有现实意义。干扰理论是生态学的重要组成部

分,目前研究较多的则是“中度干扰假说”[3-4],该假说认为中等程度的干扰能够维持高的生物多样性,虽然这一假说得到许多学者的验证[5-7],但对于森林生态系统中地表土壤动物群落是否支持这一假说有待探究。国内学者对于土壤动物对人为干扰强度响应机制的研究开展较少,且只见于草地、耕地和湿地生态系统[8-10]。张智英等[11]在云南石林喀斯特景区对不同生境大型土壤动物的多样性进行研究,表明受人为干扰较严重的灌木丛和草地,无论土壤动物的类群数、密度、生物量还是多样性都较低。吴东辉、陈鹏等[12]对长春市不同土地利用方式下大型土壤动物进行研究表明,土壤动物多样性随着土地利用方式和人为干扰程度的不同而存在差异,受农业生产活动和旅游干扰较轻的土地利用方式下土壤动物个体数、类群数和多样性相对较高。在森林生态系统中,地表土壤动物对不同干扰强度响应特征的研究却鲜有报道。

凉水自然保护区具有原始林-次生林-人工林完整的干扰梯度类型,为探索森林生态系统经人为干扰或经营后土壤动物多样性和时空变异特征提供了良好的研究平台[13]。本实验在小兴安岭凉水国家级自然保护区,选择代表不同干扰梯度的 6 种林型(轻度、中度和重度),于 2015 年 7、8、10 月采用陷阱法调查地表鞘翅目成虫群落,尝试性回答以下问题:(1)6 个林型地表鞘翅目成虫个体数量、物种组成和群落多样性是否存在显著差异和季节变化;(2)鞘翅目成虫个体数量、物种组成是否随干扰强度变化表现为梯度性规律;(3)凉水地区鞘翅目成虫群落多样性是否符合中度干扰假说。通过本实验的分析揭示凉水森林生态系统地表鞘翅目成虫对不同干扰梯度的响应特征,为地表生物多样性保护和森林生态系统管理提供数据支撑。

1　研究区概况与研究方法

1.1　自然概况

研究区位于黑龙江省伊春市带岭区凉水自然保护区内(47°10′50″N,128 °53′20″E),地处小兴安岭山脉南坡达里带岭支脉的东坡,海拔高度在 280—707m 之间,为典型的低山丘陵地貌。该区地处欧亚大陆东缘,属温带大陆性夏雨季风气候,春季迟缓,多大风,降水少;夏季短,多雨水,降雨占全年 60%以上;秋季降温快,多出现早霜;冬季长且寒冷干燥。地带性土壤为暗棕壤,非地带性土壤为草甸土、沼泽土和泥炭土。该区具有古老的区系和群落发生的历史,保存了较完整而典型的地带性顶极群落类型及自然景观,境内森林覆盖率达 96%[13-14]。

区内植被群落复杂多样,地带性植被是以红松为主的温带针阔混交林,具有原始林-次生林-人工林完整干扰梯度类型的森林生态系统。选取原始阔叶红松林(以 KY 表示)、谷地云冷杉林(YL)、阔叶红松择伐林(ZF)、次生白桦林(BH)、落叶松人工林(RL)和红松人工林(RHS)6 种林型作为实验样地,其中 KY 和 YL 为轻度干扰林型,是受干扰程度较轻的原始林,林龄均在 300a 以上;ZF 和 BH 为中度干扰林型,是经过人为干扰后经营恢复良好的次生林,ZF 林型历史约 200a,BH 林龄为 62a;RL 和 RHS 为重度干扰林型,是由 1954 年阔叶红松林皆伐后人工造林而成,成林时间均为 63a。关于实验样地立地状况和树种组成特征,详见参考文献[13]。

1.2　样地设置与样品采集

在 KY、YL、ZF、BH、RL 和 RHS 内分别设置 3 个 20m×30m 的重复样方,3 个样方随机分布且彼此间隔 50m 以上。采用陷阱法采集地表土壤动物,在每个样方的 4 个顶点中随机选择 3 个顶点(以白色 PVC 管作为地标),在以地标为中心的 30cm 半径圆内选取一个采样点。在每个采样点用土钻(内径 7cm)挖取一个深 15cm 的柱状土坑,将诱捕杯(内径 7cm,高度 14cm)置于土坑内使杯口与地面齐平,内置约占诱捕杯容积 2/3 的饱和 NaCl 溶液,杯口上方约 10cm 处支起一个一次性餐盘防止凋落物和雨水等杂物进入,陷阱放置野外 7 天 7 夜后取回。分别于 2015 年 7 月、8 月和 10 月开展调查,共采集样品 162 个(3 个采样点×3 个样方×6 种林型×3 次调查)。手捡法分拣地表鞘翅目成虫,并置于 95%医用酒精中保存,鞘翅目成虫在体视显微镜(Motic SMZ168)下观察,参照《原色中国东北土壤甲虫图鉴——步行虫类》[15]、《原色中国东北土壤甲虫图鉴——隐翅虫类拟步甲类》[16]、《中国东北的葬甲科研究》[17]、《中国土壤动物检索图鉴》[18]将其鉴定到种。

1.3 数据处理

1.3.1 多度等级和 Raunkiaer 频度指数的划分

个体数占总数 10.0%以上者为优势物种,个体数占总数 1.0%—10.0%者为常见物种,个体数占总数 1.0%以下者为稀有物种。依据每个物种出现的样点数与总样点数的比值计算 Raunkiaer 频度指数[19],划分标准为:0—20%为 A 级,>20%—40%为 B 级,>40%—60%为 C 级,>60%—80%为 D 级,>80%—100%为 E 级。

1.3.2 多样性指数

Shannon-wiener 指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i \tag{1}$$

Pielou 均匀度指数:

$$J = H'/\ln S \tag{2}$$

Simpson 指数:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{S} P_i^{\,2} \tag{3}$$

式中,S 为样地中的物种数, P_i 为样地中第 i 物种个体数占总个体数的比例。

密度-类群指数:

$$DG = (g/G) \sum_{i=1}^{g} (D_i C_i / D_{i\max} C) \tag{4}$$

式中, D 为第 i 物种个体数, $D_{i\max}$ 为各群落中第 i 物种的最大个体数,g 为群落中的物种数,G 为各群落所包含的总物种数, C_i/C 为相对次数,即在 C 个群落中第 i 物种出现的比率。

1.3.3 群落相似性

选用 Jaccard 相似性系数 q 和 Gower 系数 S_g 度量群落间的相似程度。

Jaccard 相似性系数:

$$q = \frac{c}{a + b - c} \times 100\% \tag{5}$$

式中,a 为 A 样地全部物种数,b 为 B 样地全部物种数,c 为 A、B 两样地共有的物种数,q 值在 0.75—1.00 为极相似;0.50—0.74 为中等相似;0.25—0.49 为中等不相似;0.00—0.24 为极不相似。

Gower 系数:

$$S_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left[1 - (|X_{ij} - X_{ik}|) \frac{1}{R_i} \right] \tag{6}$$

式中,n 为两个群落相比较的物种数,X_i 为第 i 物种的个体数,j 和 k 代表两个不同的群落,R_i 是第 i 物种在 j 和 k 群落的个体总数。系数最大值为 1 最小值为 0。

1.3.4 方差分析和聚类分析

采用 Q-Q Plot 对每次调查的数据进行正态性检验,不符合正态分布的数据进行平方根转换使之符合或近似符合正态分布;采用三因素方差分析对干扰梯度、林型和月份进行主效应及交互效应检验,并用 LSD 多重比较对比不同干扰梯度之间、不同林型之间和不同月份之间的个体数、物种数及多样性指数差异显著性;采用单因素方差分析对比相同月份不同林型之间的个体数、物种数及多样性的差异性和对比同一林型不同月份间个体数、物种数及多样性的差异性,采用 LSD 法进行组间多重比较;依据个体数和物种数运用平方 Euclidean 聚类分析对 6 种林型进行聚类,揭示 6 种林型之间的相似程度。

数据处理工作均在软件 SPSS 21.0、Origin8.6 和 Excel 2007 上完成。

2　结果与分析

2.1　地表鞘翅目成虫群落物种组成及数量特征

所有调查共捕获地表鞘翅目成虫 879 只,分属 9 科 44 物种。总体看,步甲科(Carabidae)、葬甲科(Silphidae)和隐翅虫科(Staphylinidae)为优势科(个体数分别占总数的 39.81%、35.16%和 23.54%),其他 6 科均为稀有科(个体数占总数的 1.94%)。优势种共有 3 种,分别为葬甲科的 *Phosphuga atrata*、*Nicrophorus tenuipes* 和步甲科的 *Aulonocarabus canaliculatus*(个体数分别占总数的 21.96%、10.69%和 14.56%);常见种共有 12 种,个体数占总数的 42.43%;优势种和常见种的个体数占总捕获量的 80.65%,是该区地表鞘翅目成虫的主要组成部分;其余 29 种均为稀有物种,物种数高达总物种数的 65.91%,但个体数仅占总捕获量的 10.35%。

就空间分布特征来看,优势种和常见种分布广泛,3 种优势种在不同林型或干扰梯度中均有分布。常见种的分布差异较大,但其中 50%的常见种在 6 个林型中都有分布。稀有种不仅个体数量少,且分布的比较狭窄,几乎仅分布于 1—3 个群落中,群落中多数物种空间分布的广狭与个体数量的多寡具有明显的一致性。所有调查中,属于 Raunkiaer 频度 A 级的物种数最多,表明绝大多数物种在样地中出现的频度较低;7 月和 8 月 Raunkiaer 频度基本表现为 A>B>C>D>E,10 月份物种仅有 A 级 14 种和 B 级 1 种,符合 Raunkiaer 频度定律,即群落中低频度物种数目高于频度较高物种的数目[19](表 1)。

所有调查中,6 种林型地表鞘翅目成虫数量从大到小依次为:RL(232 只)>KY(150 只)>ZF(144 只)>BH(132 只)>RHS(120 只)>YL(101 只),RL 林型个体数量与其他 5 种林型的差异均达到显著水平($P<0.05$),其他 5 种林型个体数量无显著差异;物种数从大到小依次为:BH(23 种)>RL(22 种)>KY(21 种)>ZF(20 种)= YL(20 种)>RHS(17 种),6 个林型的物种数均无显著差异。轻度、中度和重度干扰生境分别捕获成虫 251 只(6 科 29 种)、276 只(6 科 27 种)和 352 只(6 科 29 种);所有干扰梯度生境中均以步甲科、葬甲科和隐翅虫科为优势科,3 种干扰梯度间成虫个体数和物种数均无显著差异(表 2)。基于三因素方差分析的主体间效应检验表明林型($F=6.088$,$P<0.05$)和月份($F=31.441$,$P<0.05$)对鞘翅目成虫群落个体数量影响显著,干扰梯度对群落个体数量无显著影响,三者之间的交互作用对群落个体数量均无显著影响;同时,主效应检验表明月份($F=60.454$,$P<0.05$)对鞘翅目成虫群落物种数影响显著,干扰梯度、林型及三者之间交互效应对群落物种数无显著影响。

7 月共捕获地表鞘翅目成虫 441 只(7 科 25 种),其中以步甲科、葬甲科和隐翅虫科为优势科;8 月共捕获成虫 323 只(5 科 28 种),以步甲科、葬甲科和隐翅虫科为优势科;10 月共捕获成虫 115 只(5 科 15 种),其中以隐翅虫科为优势科。10 月的个体数和物种数分别与 7 月、8 月具有显著差异($P<0.05$)。

2.2　各林型地表鞘翅目成虫水平分布及季节动态

7 月,RL 林型鞘翅目成虫个体数高于其他 5 个林型,YL 个体数为 6 种林型中最少,RL 个体数除了与 KY 差异不显著外与其他林型均具有显著差异($P<0.05$),且与 YL 差异极显著($P<0.01$),其他林型之间个体数量无显著差异。8 月,RL 林型鞘翅目成虫个体数与 RHS 和 YL 分别具有显著差异($P<0.05$),RHS 与 ZF、ZF 与 YL 具有显著差异($P<0.05$),其他林型之间个体数量无显著差异,RHS 和 YL 林型个体数低于其他 4 个林型。10 月份各样地捕获个体数量都较少,RL 个体数与 KY 和 BH 分别具有显著差异($P<0.05$),其他样地间个体数量无显著差异。7 月和 8 月,步甲科和葬甲科在数量上占据优势,而在 10 月份则以隐翅虫科占据明显优势。

7 月,RL 林型物种数分别与 YL、ZF 具有显著差异($P<0.05$);8 月和 10 月,6 个林型之间物种数均无显著差异。对比分析相同林型不同月份的差异,6 个林型的地表鞘翅目成虫物种数从 7 月到 8 月存在不同程度下降,而 10 月物种数相较 7 月和 8 月下降幅度更大,具体表现为:KY 林型物种数 7 月和 8 月差异显著($P<0.05$),RL 林型物种数 7 月和 8 月具有显著差异($P<0.05$),其他林型 7 月的物种数和 8 月的物种数无显著差异,各样地 10 月份的物种数分别与 7 月、8 月具有显著差异($P<0.05$)(图 1)。

表 1 地表鞘翅目成虫群落组成及 Raunkiaer 频度

Table 1 Community compositions and Raukiaer friquencies for ground Coleoptera adults

科 Family	物种 Species	轻度干扰 Mild disturbance KY 个体数 Individuals	KY %	YL 个体数 Individuals	YL %	中度干扰 Intermediate disturbance ZF 个体数 Individuals	ZF %	BH 个体数 Individuals	BH %	重度干扰 Severe disturbance RL 个体数 Individuals	RL %	RHS 个体数 Individuals	RHS %	总计 Total 个体数 Individuals	Total %	Raunkiaer 频度 Raunkiaer Friquency 7月 Jul.	8月 Aug.	10月 Oct.
葬甲科	*Nicrophorus tenuipes*	14	9.33	3	2.97	9	6.25	20	15.15	41	17.67	7	5.83	94	10.69	C	B	—
Silphidae	*Nicrophorus quadripunctatus*	1	0.67	—	—	—	—	1	0.76	3	1.29	—	—	5	0.57	A	—	—
	Nicrophorus investigator	—	—	—	—	—	—	—	—	4	1.72	—	—	4	0.46	—	A	—
	Nicrophorus vespilloides	1	0.67	—	—	—	—	4	3.03	8	3.45	—	—	13	1.48	A	A	—
	phosphuga atrata	55	36.67	15	14.85	42	29.17	19	14.39	35	15.09	27	22.50	193	21.96	D	C	—
步甲科	*Catopidae*; *Sciodrepoides fumatus*	7	4.67	—	—	—	—	—	—	8	3.45	—	—	15	1.71	A	A	—
Carabidae	*Pterostichus* (*Metallophilus*) *heilongjiangensis*	14	9.33	2	1.98	6	4.17	2	1.52	4	1.72	6	5.00	34	3.87	B	A	—
	Pterostichus maoershanensis	6	4.00	1	0.99	5	3.47	11	8.33	19	8.19	18	15.00	60	6.83	B	B	A
	Pterostichus adstrictus	2	1.33	9	8.91	7	4.86	9	6.82	7	3.02	10	8.33	44	5.01	B	B	A
	Pterostichus haptoderopdes	1	0.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.11	—	A	—
	Carabus billbergi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2.50	3	0.34	A	A	—
	Carabus arvensis	—	—	1	0.99	—	—	2	1.52	1	0.43	—	—	4	0.46	—	A	A
	Morphocarabus hummeli	—	—	1	0.99	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.11	—	A	—
	Tomocarabus aurocinctus	—	—	7	6.93	—	—	—	—	—	—	—	—	7	0.80	—	A	—
	Megodontus vietinghoffi	5	3.33	1	0.99	4	2.78	1	0.76	2	0.86	4	3.33	17	1.93	B	—	—
	Aulonocarabus canaliculatus	8	5.33	14	13.86	23	15.97	33	25.00	42	18.10	8	6.67	128	14.56	C	D	—
	Nebria livida	—	—	1	0.99	1	0.69	—	—	1	0.43	—	—	3	0.34	—	A	—
	Anisodactylus punctatipenuis	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.43	—	—	1	0.11	—	A	—
	Anthracus horni	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.83	1	0.11	—	A	—
	Bembidion altaicus	6	4.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	0.68	A	A	—
	Bembidion lissontum	—	—	1	0.99	2	1.39	1	0.76	2	0.86	—	—	6	0.68	A	A	—
	Dicranoncus femoralis	—	—	—	—	6	4.17	4	3.03	—	—	—	—	10	1.14	A	A	—
	Harpalus coreanus	—	—	—	—	—	—	1	0.76	—	—	—	—	1	0.11	A	—	—
	Pristosia vigil	—	—	—	—	1	0.69	—	—	—	—	—	—	1	0.11	—	A	—
	Platynus ezoanus	—	—	2	1.98	1	0.69	3	2.27	—	—	1	0.83	7	0.80	—	—	A
隐翅虫科	*Acotylus mimulus*	1	0.67	—	—	1	0.69	—	—	9	3.88	—	—	11	1.25	A	A	—
Staphylinidae	*Aleochara curtula*	10	6.67	6	5.94	5	3.47	1	0.76	—	—	4	3.33	26	2.96	B	—	—
	Anotylus minulus	3	2.00	1	0.99	3	2.08	1	0.76	—	—	—	—	8	0.91	A	—	A
	Aleochara puberela	—	—	—	—	—	—	1	0.76	—	—	—	—	1	0.11	—	A	—

续表

科 Family	物种 Species	轻度干扰 Mild disturbance KY 个体数 Individuals	KY %	YL 个体数 Individuals	YL %	中度干扰 Intermediate disturbance ZF 个体数 Individuals	ZF %	BH 个体数 Individuals	BH %	重度干扰 Severe disturbance RL 个体数 Individuals	RL %	RHS 个体数 Individuals	RHS %	总计 Total 个体数 Individuals	%	Raunkiaer 频度 Raunkiaer Friquency 7月 Jul.	8月 Aug.	10月 Oct.
	Diochus japonicus	—	—	1	0.99	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.11	A	—	—
	Philonthus solidus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2.50	3	0.34	A	A	—
	Philonthus wuesthoffi	7	4.67	16	15.84	7	4.86	7	5.30	11	4.74	12	10.00	60	6.83	C	B	A
	Philonthus aeneipenuis	—	—	—	—	4	2.78	1	0.76	—	—	—	—	5	0.57	—	A	A
	Carpelimus vagus	2	1.33	17	16.83	1	0.69	6	4.55	20	8.62	12	10.00	58	6.60	—	—	B
	Philonthus sericans	1	0.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.11	—	—	A
	Lathrobium dignum	—	—	—	—	1	0.69	—	—	1	0.43	—	—	2	0.23	—	—	A
	Mycetoporus discoidalis	—	—	—	—	—	—	—	—	5	2.16	1	0.83	6	0.68	—	—	A
	Psephidonus sinuatus	2	1.33	1	0.99	15	10.42	—	—	7	3.02	—	—	25	2.84	—	—	A
叩甲科 Elateridae	*Yamatostrius albipilis*	—	—	—	—	—	—	1	0.76	—	—	—	—	1	0.11	A	—	—
阎甲科 Histeridae	*Hister jakeli*	—	—	—	—	—	—	1	0.76	—	—	—	—	1	0.11	A	—	—
象甲科 Curculionidae	*Poiyaumbus gebleri*	—	—	1	0.99	—	—	—	—	—	—	2	1.67	3	0.34	A	—	—
拟虎甲科 Elaphriidae	*Elaphrus punctatus*	3	2.00	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.83	4	0.46	—	A	A
拟瓢虫科 Endomychidae	Endomychidae sp	1	0.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.11	—	—	A
叶甲科 Chrysomelidae	Chrysomelidae sp	—	—	—	—	—	—	2	1.52	1	0.43	—	—	3	0.34	A	A	A
总 Total		150	101	144	132	232	120	879										

"—"表示林型中该物种未出现;A、B、C、D、E 为 Raunkiaer 频度等级:0—20%为 A 级,>20%—40%为 B 级,>40%—60%为 C 级,>60%—80%为 D 级,>80%—100%为 E 级;KY:原始阔叶红松林 virgin mixed broadleaved-Korean pine forest; YL:谷地云冷杉林 valley spruce-fir forest; ZF:阔叶红松择伐林 selectively cut mixed broadleaved-Korean pine forest; BH:次生白桦林 secondary birch forest; RL:落叶松人工林 Dahurian larch plantation; RHS:红松人工林 Korean pine plantation

表 2 不同林型、干扰梯度及月份间地表鞘翅目成虫群落个体数和物种数差异比较

Table 2 Differences for individuals and species numbers of ground Coleoptera adults among different forest habitats, disturbance gradients and months

数量 Quantity	林型 Forest habits						干扰梯度 Disturbance gradients			月份 Months		
	KY	YL	ZF	BH	RL	RHS	轻度 Mild	中度 Intermediate	重度 Severe	7 月 Jul.	8 月 Aug.	10 月 Oct.
个体数 Individuals	150a	101a	144a	132a	232b	120a	251a	276a	352a	441a	323a	115b
物种数 Species	21a	20a	20a	23a	22a	17a	29a	27a	29a	25a	28a	15b

同一行字母相同表示差异不显著,字母不同表示差异显著(P<0.05)

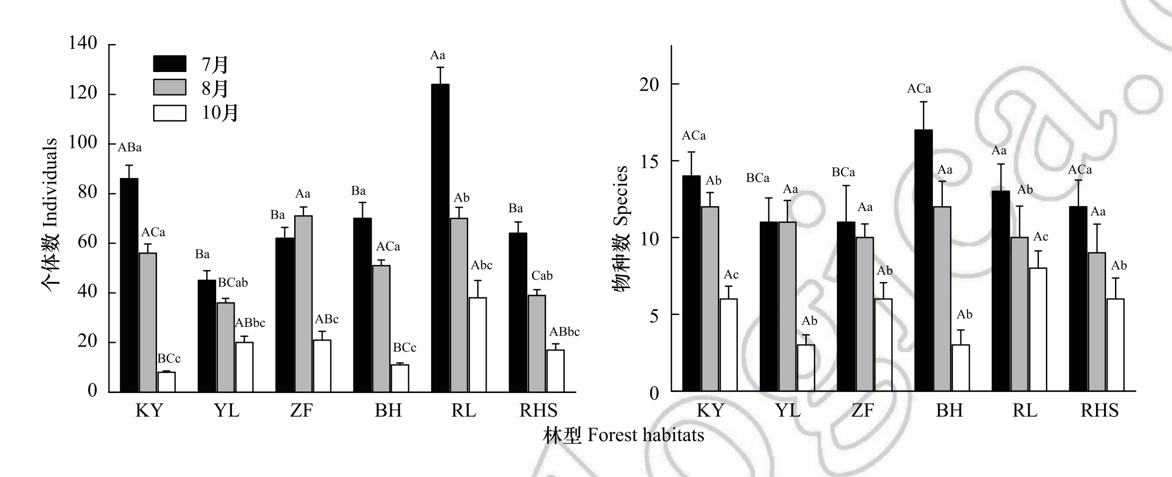


图 1 6 种林型不同月份地表鞘翅目成虫个体数和物种数

Fig.1 Individuals and species numbers for ground Coleoptera adults in different months of six forest habitats

字母 A、B、C 表示同一月份不同林型间差异性,a、b、c 表示同一林型不同月份间差异性,有相同字母表示无显著差异,字母不同表示有显著差异; KY:原始阔叶红松林 virgin mixed broadleaved-Korean pine forest; YL:谷地云冷杉林 valley spruce-fir forest; ZF:阔叶红松择伐林 selectively cut mixed broadleaved-Korean pine forest; BH:次生白桦林 secondary birch forest; RL:落叶松人工林 Dahurian larch plantation; RHS:红松人工林 Korean pine plantation

2.3 地表鞘翅目成虫群落多样性

7 月,RL 林型 *DG* 指数分别与 YL、ZF、BH 具有显著差异(P<0.05),其他林型间无显著差异,8 月或 10 月各林型间 *DG* 指数均无显著差异;三次调查,7、8、10 月所有群落的 *DG* 指数均呈现不同程度降低,尤其以 10 月 *DG* 指数降低幅度更大。7 月 RHS 林型多样性指数 H'分别与 BH、ZF 差异显著(P<0.05),其他林型之间无显著差异;8 月或 10 月 6 个林型之间的 H'均无显著差异。总体看,均匀度指数 J 和优势度指数 C 基本表现为各月份 6 种林型之间无显著差异。

对比多样性指数在相同林型不同月份间的差异性,RL 林型 3 个月间 *DG* 指数均有显著差异(P<0.05),ZF 林型在 8 月和 10 月间 *DG* 指数具有显著差异(P<0.05)。6 种林型的 H'指数基本表现为 7 月与 8 月差异不显著,10 月分别与 7 月、8 月具有显著差异(P<0.05);J 指数表现为 ZF、BH 在 7 月和 10 月间具有显著差异(P<0.05),其他林型 3 个月份之间 J 指数均无显著差异;C 指数表现为 YL、ZF、RHS 林型 10 月分别与 7 月和 8 月差异显著(P<0.05),其他林型 3 个月份间均无显著差异(表 3)。

相同调查月份中不同干扰梯度之间多样性指数基本表现为差异不显著,而相同干扰梯度的不同月份之间多样性指数存在差异,表现为 10 月分别与 7 月或 8 月差异显著(P<0.05)(表 3)。主体间效应检验表明月份对多样性指数 *DG*(F=26.372,P<0.05)、H'(F=48.123,P<0.05)、C(F=25.714,P<0.05)和 J(F=3.502,P<0.05)均具有显著影响,林型和干扰梯度则对多样性指数影响不显著;同时,三者之间交互作用对群落多样性指数也无显著影响。

表 3　不同月份、林型和干扰梯度的地表鞘翅目成虫群落多样性指数

Table 3　Diversity indices for ground Coleoptera adults in habitats with different months, forest and disturbance gradients

调查月份 Survey months	林型 Forest habitats	*DG*	*H′*	*J*	*C*
7	KY	2.89±0.618ABa	1.79±0.030ABa	0.83±0.028ABa	0.79±0.005Aa
	YL	2.31±0.117Ba	1.67±0.023ABa	0.88±0.028ABa	0.77±0.015Aa
	ZF	2.19±1.078Bab	1.51±0.289Aa	0.82±0.051ABa	0.71±0.075Aa
	BH	2.13±0.353Ba	1.65±0.180Aa	0.76±0.058Aa	0.70±0.067Aa
	RL	4.64±0.418Aa	1.96±0.045ABa	0.85±0.007ABa	0.82±0.012Aa
	RHS	2.77±1.053ABa	2.14±0.180Ba	1.11±0.220 Ba	0.80±0.026Aa
	轻度干扰	2.60±0.309ABa	1.73±0.031Aa	0.86±0.021Aa	0.78±0.008ABa
	中度干扰	2.16±0.507Aa	1.58±0.155Aa	0.79±0.037Aa	0.71±0.045Aa
	重度干扰	3.71±0.656Ba	2.05±0.092Ba	0.98±0.114Aa	0.81±0.014Ba
8	KY	1.71±0.703Aa	1.29±0.007Aab	0.74±0.058ABa	0.62±0.035Aa
	YL	2.33±0.324Aa	1.67±0.108Aa	0.88±0.014ABa	0.77±0.027Aa
	ZF	3.12±0.420Aa	1.50±0.034Aa	0.77±0.018ABab	0.71±0.017Aa
	BH	2.55±0.764Aa	1.56±0.133Aa	0.81±0.015Aab	0.74±0.062Aa
	RL	2.51±0.819Ab	1.51±0.370Aab	0.77±0.104ABa	0.68±0.136Aa
	RHS	2.93±0.449Aa	1.66±0.145Aa	0.91±0.018Ba	0.78±0.029Aa
	轻度干扰	2.02±0.373Aa	1.48±0.098Aa	0.81±0.042Aa	0.69±0.038Aa
	中度干扰	2.83±0.410Aa	1.53±0.063Aa	0.79±0.014Aa	0.72±0.030Aa
	重度干扰	2.72±0.0.428Aa	1.59±0.181Aa	0.84±0.056Aa	0.73±0.066Aa
10	KY	0.59±0.323Ab	0.81±0.411Ab	0.65±0.327Aa	0.46±0.232Aa
	YL	0.48±0.113Ab	0.51±0.094Ab	0.73±0.136Aa	0.33±0.079Ab
	ZF	0.51±0.262Ab	0.56±0.291Ab	0.44±0.223Ab	0.30±0.153Ab
	BH	0.78±0.364Ab	0.76±0.098Ab	0.93±0.038Ab	0.51±0.037Aa
	RL	0.74±0.236Ac	1.02±0.153Ab	0.80±0.145Aa	0.57±0.111Aa
	RHS	0.62±0.527Ab	0.54±0.302Ab	0.49±0.248Aa	0.29±0.145Ab
	轻度干扰	0.54±0.155Ab	0.66±0.200Ab	0.69±0.159Ab	0.40±0.113Ab
	中度干扰	0.65±0.209Ab	0.66±0.145Ab	0.69±0.149Ab	0.40±0.085Ab
	重度干扰	0.68±0.260Ab	0.78±0.186Ab	0.64±0.147Ab	0.43±0.104Ab

同一列字母 A、B、C 表示相同月份不同林型/不同干扰梯度间差异，a、b、c 表示相同林型/相同干扰梯度的不同月份间差异，有相同字母则表示无显著差异，字母不同则表示有显著差异(P<0.05)；*DG*：密度—类群指数 Density-Group index，*H′*：Shannon 指数 Shannon-wiener index，*J*：均匀度指数 Pielou index，*C*：优势度指数 Simpson index

2.4　群落相似性和聚类分析

Jaccard 系数表明若只考虑群落物种组成上的相似性，7 月份，RHS、YL 分别与 RL 为中等不相似，RHS、KY、YL 分别与 BH 为中等不相似，其他林型之间均为中等相似，其中以 RL 和 KY 相似程度最高(0.688)；8 月份，仅 RL 与 YL 为中等相似(0.500)，其他几个林型之间均为中等不相似；10 月份，YL、BH 分别与 ZF 为中等相似，RHS、YL 分别与 BH 为中等相似，其他林型之间为中等不相似或极不相似，其中 KY 与 BH 的相似性最低(0.125)。

若加入个体数量因素，Gower 系数 S_g 表明各林型间的相似性明显比 Jaccard 系数 q 低。7 月份以 ZF 与 KY 间的相似性最高(0.453)，以 RL 与 YL 间的相似性最低(0.240)；8 月份和 10 月份，各林型之间的相似性都较低；可以看出，无论 7 月、8 月或 10 月，以 Gower 系数 S_g 表示的不同林型间相似性都较低(S_g <0.5)(表 4)。

聚类分析结果表明 RHS 与 YL 最为相似，ZF 相似度次之，BH、RL、KY 与其他样地相似度较低；其中 7 月以 ZF 和 YL 最为相似，KY 次之，RHS、RL 和 BH 与其他林型相似程度较低；8 月则表现为 YL 和 BH 最为相似，ZF 次之，RL、RHS 和 KY 与其他林型差异较大；10 月以 YL 和 BH 最为相似，RHS 次之，ZF、KY 和 RL 与其

他林型相似度较低(图 2)。

表 4 不同林型地表鞘翅目成虫群落 Jaccard 系数与 Gower 系数

Table 4 Jaccard and Gower coefficients between ground Coleoptera adult communities in different forest habitats

调查月份 Survey months	样地 Plot	RHS	KY	ZF	YL	BH
7	RL	0.471 (0.282)	0.688(0.378)	0.600(0.394)	0.412(0.240)	0.579(0.409)
	RHS		0.529 (0.319)	0.533 (0.397)	0.643(0.412)	0.450(0.227)
	KY			0.563(0.453)	0.471(0.232)	0.476(0.299)
	ZF				0.571(0.316)	0.556(0.374)
	YL					0.474(0.298)
8	RL	0.357(0.217)	0.375(0.185)	0.429(0.316)	0.500(0.308)	0.375(0.284)
	RHS		0.313(0.203)	0.267(0.144)	0.333(0.219)	0.400(0.250)
	KY			0.294(0.229)	0.278(0.208)	0.263(0.149)
	ZF				0.400(0.322)	0.467(0.334)
	YL					0.438(0.302)
10	RL	0.273(0.189)	0.167(0.052)	0.400(0.273)	0.222(0.130)	0.222(0.125)
	RHS		0.200(0.129)	0.333(0.239)	0.286(0.214)	0.500(0.306)
	KY			0.200(0.090)	0.286(0.125)	0.125(0.063)
	ZF				0.500(0.151)	0.500(0.242)
	YL					0.500(0.330)

无括号的数字为 Jaccard 系数 q,括号中的数字为 Gower 系数 S_g

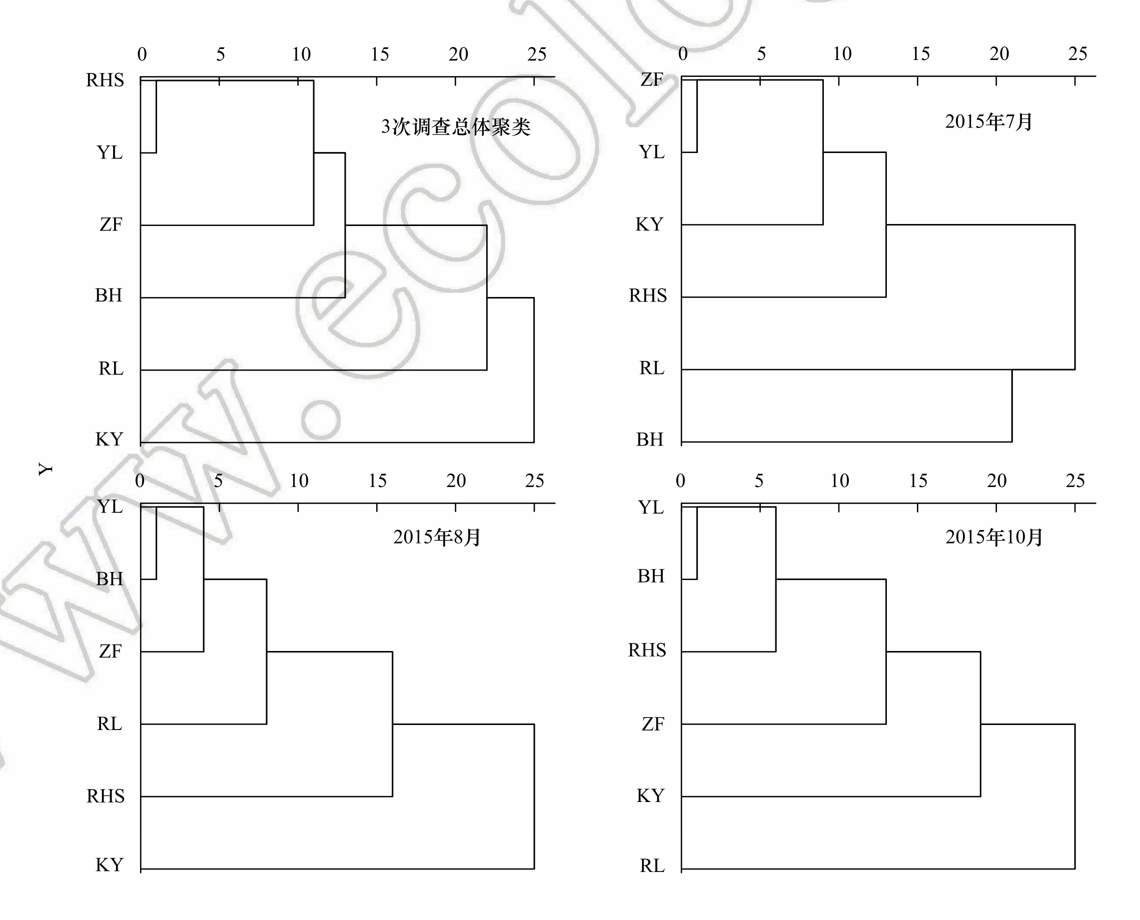


图 2 各月份地表鞘翅目成虫群落聚类图(平方 Euclidean 距离)

Fig.2 Clustering figures (based on square Euclidean distance) **for ground Coleoptera adults communities in different months**

3 讨论

3 次调查共捕获鞘翅目成虫 879 只,分属 9 科 44 物种,依据各林型鞘翅目成虫个体数量多少排序 RL>KY>ZF>BH>RHS>YL,RL 林型个体数量高于其他林型,YL 林型个体数量为 6 种林型中最低。轻度干扰生境共捕获成虫 251 只(6 科 29 种),属于轻度干扰生境的 KY 和 YL 个体数量差异不显著;中度干扰生境捕获成虫 276 只(6 科 27 种),属于中度干扰生境的 ZF 和 BH 个体数量较接近,差异不显著;重度干扰生境共捕获成虫 352 只(6 科 29 种),同属重度干扰生境的 RHS 与 RL 个体数量差异显著。三因素方差分析表明林型和月份对鞘翅目成虫群落结构有显著影响,而干扰梯度对鞘翅目成虫群落结构无显著性影响,并且进一步的 LSD 多重比较表明不同干扰梯度处理中鞘翅目群落无显著差异,不同林型或不同月份之间鞘翅目群落个体数、物种数及多样性存在显著差异性,说明干扰并不是影响地表鞘翅目成虫群落组成的重要因素,林型和季节动态才是影响鞘翅目成虫群落结构的重要因素。

进一步对多样性指标进行分析,受人为干扰程度最轻的原始林(KY 和 YL)生态系统结构复杂,植被多样性较高,生物多样性理论上应该更高[20],但实际 3 次调查中 KY 和 YL 林型地表鞘翅目成虫的多样性指数 H' 和 DG 指数并不是 6 个林型中最高,尤其 YL 的 DG 指数较低;结合 3 个月份的 Jaccard 系数、Gower 系数以及聚类分析结果来看,具有相同干扰梯度的 KY 和 YL 林型间相似程度并不高。BH 是经过中度干扰后天然更新恢复良好的次生林生态系统,其 7 月份和 8 月份鞘翅目物种较为丰富,但 10 月份是较寒冷的调查季节,多样性指数明显下降,同为中度干扰梯度的 ZF 林型在 8、10 月份的多样性指数与 BH 具有很大差异性,相似性指数和聚类分析结果表明,具有相似干扰梯度的次生林 ZF 和 BH 在 7 月、8 月或 10 月中没有表现出较高的相似性;ZF 和 BH 属于中度干扰模式下的植被群落,但二者鞘翅目成虫多样性相对其他干扰模式下的群落并无显著优势。人工林代表着完全人为干扰模式下的生态系统,这样的生态系统树种单一、结构简单,通常生物多样性会较低[21],但对于凉水地区落叶松人工林(RL)并不如此,在所有调查中 RL 的鞘翅目成虫个体数量和多样性指数高于其他几个林型;RHS 是人工林生态系统,但其地表鞘翅目成虫多样性与 RL 存在较大差异,并且属于同一干扰梯度的 RHS 和 RL 在 3 个月份中所表现出的相似性都较低。另外,具有相似林龄的 BH、RL 和 RHS(62a—63a)地表鞘翅目成虫群落并不相似,具有相同林龄的 KY 和 YL(300a 以上)地表鞘翅目成虫群落结构也不相似,表明各群落间的相似程度与林龄没有直接对应的关系。3 次调查中,各林型鞘翅目成虫多样性没有表现出随干扰梯度升高或降低的相关规律,相似性分析和聚类分析结果不能将相同干扰梯度的鞘翅目成虫群落归为一类,表明干扰对群落多样性并无显著影响。

具有相同干扰梯度的森林生态系统地表鞘翅目群落结构没有表现出高度相似性,不同干扰梯度生境鞘翅目群落组成差异不明显,且干扰对群落物种个体数量、物种数量和多样性均没有显著影响,表明干扰梯度不是造成各林型间地表鞘翅目成虫群落结构差异的关键因素,即凉水地区鞘翅目成虫群落多样性不符合中度干扰假说。据此归纳原因:谷地云冷杉林(YL)虽受干扰较轻,但云冷杉林多高大乔木,林木郁闭度较高,且该生境处于地势相对低洼的谷地,尤其 7、8 月份多雨,样地会不同程度被水淹没,土壤动物生存环境质量低下,严重影响了地表大型土壤动物多样性[22-23],使得该林型鞘翅目成虫群落多样性较低;原始阔叶红松林(KY)内有游客临时踩踏形成的山路,相对较多的人员出入导致部分地表植被不同程度的破坏,可能使得鞘翅目成虫群落多样性下降。中度干扰梯度的次生白桦林(BH)植被覆盖度较高,其 7 月和 8 月物种较为丰富,但 10 月份是较寒冷的调查季节,食物资源减少、地表温湿度等适宜性明显降低,个体数和物种数明显下降;次生白桦林和红松择伐林(ZF)虽属于同一种干扰模式的次生林,但实际二者样地内具体的植被状况、地形、土壤温度及含水量差异较大[13],这可能是造成白桦林与红松择伐林鞘翅目成虫多样性存在差异的主要原因。落叶松人工林(RL)位于小于 25°的向阳斜坡上,林地内虽树种单一,但地表草本和灌木丰富,其土壤疏松,孔隙度大,土壤排水状况良好,位于阳坡,地表温度适宜,且落叶松林凋落物也较为丰富,有利于地表大型土壤动物的栖息与繁衍,其地表大型土壤动物群落的个体数和多样性都较高。这与刘继亮等[24]的研究结果类似,刘继亮等对

秦岭西部山地次生林和人工林大型土壤动物群落特征的研究发现,油松林和日本落叶松人工林土壤动物密度显著高于次生林的土壤动物密度,日本落叶松林虽是人工林,但其凋落物厚度、土壤养分含量和土壤孔隙度均较高,为土壤动物生存提供有利条件;红松人工林(RHS)地表鞘翅目成虫群落多样性低于落叶松人工林,原因可能在于红松人工林相比落叶松人工林地表植被覆盖度低,样地内地表裸露面积较大,土壤相对瘠薄[13]。

本实验还表明:10 月份步甲科和葬甲科的个体数量及物种数较之 7、8 月份大幅下降,温度降低可能是造成 10 月份步甲科和葬甲科物种及个体数量减少的决定因素;而在 10 月份 6 个群落中隐翅虫科都是唯一的优势科,数量较 7、8 月份有所增加,说明在调查的低温环境条件下,隐翅虫科比步甲科、葬甲科等其他物种具有更宽的生态位。就不同分析指标来看 6 种林型样地共有物种数较多,但有些共有物种的相应个体数相差较大,因此,用于反映群落物种上相似性的 Jaccard 相似性系数 q 明显比反映群落物种个体数量上的相似性的 Gower 系数 S_g 要高,表明不同林型间地表鞘翅目成虫个体数的异质性明显比物种数的高。Jaccard 相似性系数 q 的变化范围为 0.1250—0.6875,Gower 相似性系数 S_g 的变化范围为 0.0522—0.4525,说明该区 6 个林型地表鞘翅目成虫群落异质性明显。6 个地表鞘翅目成虫群落中稀有物种数多于优势物种数和常见物种数,稀有物种数共 29 种(占总物种数 65.91%),这证实了群落的异质性愈明显,大型土壤动物类群中稀有类群数就愈多这一观点[25-28]。

4 结论

本实验对凉水自然保护区 6 种林型的地表鞘翅目成虫群落组成进行研究,三次调查表明地表鞘翅目成虫群落个体数量、物种数和群落多样性不具有随干扰强度变化而变化的梯度性规律,说明地表鞘翅目成虫群落多样性并不支持中度干扰假说。人为干扰梯度不是直接影响该区地表鞘翅目成虫群落结构的主要因素,而林型和时间(月份)则是影响地表鞘翅目成虫群落组成的重要因素。

致谢:朱纪元、闫龙、曹阳、胡媛媛、张超、刘俊同学帮助实验,凉水保护区生态站提供实验便利,特此致谢。

参考文献(References):

[1] 杨利民, 周广胜, 王国宏, 王玉辉. 人类活动对榆树疏林土壤环境和植物多样性的影响. 应用生态学报, 2003, 14(3): 321-325.

[2] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 人类周期性活动对物种多样性的影响及其预测. 生态学报, 2005, 25(7): 1635-1641.

[3] Fox J F, Connell J H. Intermediate-disturbance hypothesis. Science, 1979, 204(4399): 1344-1345.

[4] Sven E J, Brian F. Encyclopedia of Ecology. USA: Elsevier Science, 2008: 1986-1994.

[5] Roxburgh S H, Shea K, Wilson J B. The intermediate disturbance hypothesis.: Patch dynamics and mechanisms of species coexistence. Ecology, 2004, 85(2):359-371.

[6] Townsend C R, Scarsbrook M R, Dolédec S. The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. Limnology and Oceanography, 1997, 42(5):938-949.

[7] Molino J F, Sabatier D. Tree diversity in tropical rain forests: a validation of the intermediate disturbance hypothesis. Science, 2001, 294(5547): 1702-1704.

[8] 武崎, 吴鹏飞, 王群, 文勇立, 高艳美, 张荣芝, 龙伟. 放牧强度对高寒草地不同类群土壤动物的群落结构和多样性的影响. 中国农业科学, 2016, 49(9): 1826-1834.

[9] 王广力, 王勇, 韩立亮, 张美文, 李波. 洞庭湖区不同土地利用方式下的土壤动物群落结构. 生态学报, 2005, 25(10): 2629-2636.

[10] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 赵欣, 程序. 四川紫色土丘陵区不同土地利用方式下中型土壤动物群落结构. 生态学杂志, 2009, 28(2): 277-282.

[11] 张智英, 张亮, 李玉辉, 何晓岚. 云南石林喀斯特景区不同生境大型土壤动物多样性研究. 林业科学研究, 2005, 18(6): 701-705.

[12] 吴东辉, 张柏, 陈鹏. 长春市不同土地利用条件下大型土壤动物群落结构与组成. 动物学报, 2006, 52(2):279-287.

[13] 史宝库, 金光泽, 汪兆洋. 小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异. 生态学报, 2012, 32(17): 5416-5428.

[14] 马建章, 刘传照, 张鹏. 凉水自然保护区研究: 第一集. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993.

[15] 李井科, 林琳, 张雪萍. 原色中国东北土壤甲虫图鉴——步行虫类. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2015.

[16] 李井科, 张利敏, 张雪萍. 原色中国东北土壤甲虫图鉴——隐翅虫类拟步甲类. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2015.

[17] 李景科, 张雪萍, 林琳, Flutsch G, 于强. 中国东北的葬甲科研究. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2011.

[18] 尹文英, 胡圣豪, 沈韫芬, 宁应之, 孙希达, 吴纪华, 诸葛燕, 张云美, 王敏, 陈建英, 徐成刚, 梁彦龄, 王洪铸, 杨潼, 陈德牛, 张国庆, 宋大祥, 陈军, 梁来荣, 胡成业, 王慧芙, 张崇洲, 匡溥人, 陈国孝, 赵立军, 谢荣栋, 张骏, 刘宪伟, 韩美贞, 毕道英, 肖宁年, 杨大荣. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.

[19] Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford:Oxford University Press,1934.

[20] 樊正球, 陈鹭真, 李振基. 人为干扰对生物多样性的影响. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 31-34.

[21] 方升佐, 田野. 人工林生态系统生物多样性与生产力的关系. 南京林业大学学报自然科学版, 2012, 36(4):1-6.

[22] 王玉, 高光彩, 付必谦, 吴专. 北京野鸭湖湿地地表甲虫群落组成与空间分布格局. 生物多样性, 2009, 17(1): 30-42.

[23] 于晓东, 罗天宏, 周红章, 杨建. 边缘效应对卧龙自然保护区森林-草地群落交错带地表甲虫多样性的影响. 昆虫学报, 2006, 49(2): 277-286.

[24] 刘继亮, 曹靖, 李世杰, 潘春林, 潘成臣. 秦岭西部山地次生林和人工林大型土壤动物群落结构特征. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2459-2466.

[25] 路有成, 王宗英. 九华山土坡动物的垂直分布. 地理研究, 1994, 13(2): 74-81.

[26] 王宗英, 陈发扬, 路有成, 聂献忠. 九华山森林土壤蜘蛛群落的初步研究. 生态学报, 1997, 17(1): 71-77.

[27] 傅必谦, 陈卫, 董晓辉, 邢忠民, 高武. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报, 2002, 22(2): 215-223.

[28] 张雪萍, 黄丽荣, 姜丽秋. 大兴安岭北部森林生态系统大型土壤动物群落特征. 地理研究, 2008, 27(3): 509-518.